

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-086987

(43)Date of publication of application : 02.04.1996

(51)Int.Cl. G02F 1/025

(21)Application number : 06-221506

(71)Applicant : NIPPON TELEGR &amp; TELEPH CORP &lt;NTT&gt;

(22)Date of filing : 16.09.1994

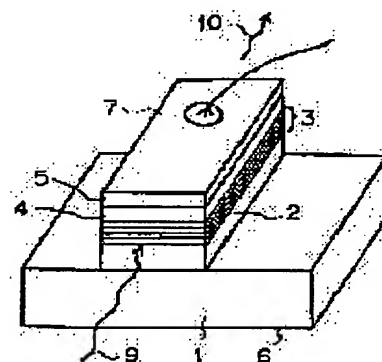
(72)Inventor :  
WAKITA KOICHI  
YAMANAKA TAKAYUKI  
KONDO SUSUMU  
NOGUCHI ETSUO

## (54) POLARIZATION-INDEPENDENT SEMICONDUCTOR QUANTUM WELL OPTICAL MODULATOR

## (57)Abstract:

PURPOSE: To provide a high-performance optical waveguide type modulator in which the effect of electric fields does not depend on the polarizing direction of incident light and large changes in absorption coefft. and refractive index can be obtained with small voltage.

CONSTITUTION: In a core 3 of the optical modulator provided with a multiple quantum well structure produced by alternately depositing quantum well layers and barrier layers consisting of two different semiconductor materials, the core is formed in such a manner that the exciton absorption by light positive holes and electrons and the exciton absorption of heavy holes and electrons in the multiple quantum well structure 3 give almost the same absorption peak wavelengths and almost the same absorption amounts.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.11.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 02.04.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-86987

(43) 公開日 平成8年(1996)4月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 F 1/025

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平6-221506

(22) 出願日 平成6年(1994)9月16日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 脇田 敏一

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 山中 孝之

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 近藤 進

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

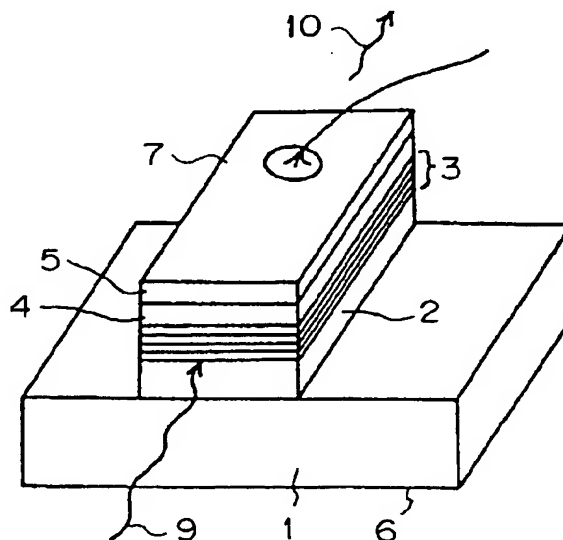
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏波無依存形半導体量子井戸光変調器

(57) 【要約】

【目的】 入射光の偏光方向により電界効果が依存することなく、かつ、大きな吸収係数変化および屈折率変化が、小さい電圧で得られる高性能な光導波路形変調器を提供する。

【構成】 異なる2種類の半導体材料からなる量子井戸層および障壁層を交互に積み重ねた多重量子井戸構造をコア3とする光変調器において、該多重量子井戸構造3の軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収との吸収ピーク波長をほぼ一致し、かつ両者の吸収量をほぼ同じとする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 異なる2種類の半導体材料からなる量子井戸層および障壁層を交互に積み重ねた多重量子井戸構造をコアとする光変調器において、該多重量子井戸構造の軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収との吸収ピーク波長がほぼ一致し、かつ両者の吸収量がほぼ同じであることを特徴とする偏波無依存形半導体量子井戸光変調器。

【請求項2】 請求項1において、前記多重量子井戸構造を形成している量子井戸層あるいは障壁層の格子定数がこれらの層をその上に成長させている基板結晶の格子定数と不整合であって、当該量子井戸層内には伸長応力が、当該障壁層にはこれと逆向きの圧縮応力がそれぞれ生じているが、当該多重量子井戸構造の全応力が互いに補償されており、かつ前記軽い正孔および電子からなる励起子吸収の吸収ピーク波長が前記重い正孔および電子からなる励起子吸収と同じか、それより長波長側になるよう、当該伸張歪の大きさを設定したことを特徴とする偏波無依存形半導体量子井戸光変調器。

【請求項3】 請求項1または2において、多重量子井戸層を挟むクラッド層の外側に電界印加用の電極を設け、電界による前記軽い正孔および電子の励起子吸収の変化と前記重い正孔および電子の励起子吸収の変化とを同じ大きさにしたことを特徴とする偏波無依存形半導体量子井戸光変調器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光導波路を構成する多重量子井戸層の吸収係数、あるいは屈折率を外部電界で制御して、光導波路を通過する光の強度、あるいは位相を、入射光の偏光方向に依らずに制御する光導波路形変調器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、分子類エピタキシー(MBE)や有機金属化学気相成長法(MOVPE)など化合物半導体極薄膜作製技術の進展によって半導体多重量子井戸(MQW)や超格子構造が登場し、これまで用いられてきたバルク半導体に比べて著しいオプトエレクトロニクス素子の特性改良が可能となっている。このうちMQW構造に電界を印加してその吸収係数あるいは屈折率を変化させる電界吸収効果あるいは電界屈折率効果は、バルク半導体に比べ非常に顕著であり、これを用いて高速・低電圧駆動な光変調器が実現されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記従来技術での半導体多重量子井戸構造によれば、入射光の偏光方向により電界効果は著しく異なる。図9(a)、(b)には、矩形ポテンシャル形状を持つ多重量子井戸構造のTE偏光およびTM偏光の場合の吸収係数変化を示す。これらの図によれば、入射光の偏光方向が多層膜に

平行(TE偏光と呼ばれる)、あるいは垂直(TM偏光と呼ばれる)により、半導体多重量子井戸構造の吸収スペクトル変化は非常に異なり、TE偏光では軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とが両方観測される(図9(a))のに対し、入射光の偏光方向がTM偏光の場合には、軽い正孔および電子からなる励起子吸収のみが観測される(図9(b))ため、入射光の偏光方向を常に一定の方向に保つ必要があった。また、電界による吸収スペクトル変化も非常に異なり、電界印加による吸収係数の長波長側へのシフト量はTEおよびTM両偏光方向それぞれに対してその大きさが異なっていた。通常、光ファイバ内を長い距離にわたって伝搬してくる光の偏光方向は保存されないため、このような偏波依存性は光信号を処理するには望ましいものではない。

【0004】 また、量子井戸のポテンシャル形状を放物線状にしてやれば電界印加による吸収端のシフト量を同等にできることは、理論的にも実験的にも証明されている(文献(1)、S. L. Chuang他: 米国応用物理学会誌, Journal of Applied Physics 65巻、2822~2826頁、および文献(2) K. Tada他: 1991年欧州光通信国際会議, WeC6-2、449~452頁)。しかし、これは吸収係数の電界印加によるピークシフトが同じであるだけで、偏光方向によって吸収係数そのものが変わってしまうことには何等効力はない(図10参照)。なお、図10には放射物ポテンシャル形状を持ち、効力の加えられていない多重井戸構造の電圧印加による吸収係数変化を示す図を示す。また、量子井戸のポテンシャル形状を放物線状にすることは結晶成長をするうえで不可能ではないが、大変技術的に困難であり、実用的とは言いがたい。

【0005】 一方、量子井戸層あるいは障壁層の格子定数が、これらの層をその上に成長させている基板結晶の格子定数と不整合になるような成長をさせて量子井戸層内に応力を生じさせることによって、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とが重なるようにする試みがある(InGaAsP/InP系多重量子井戸構造に関しては、文献(3)、M. Okamoto他: 米国電気電子学会量子エレクトロニクス誌 IEEE Journal of Quantum Electronics 27巻、1463~1469頁、1991年; InGaAs/InAlAs系多重量子井戸構造に関しては、文献(4)、井戸他: 電子情報通信学会研究報告、信学技報 ED93-61, OQE93-44(1993-07)、33-38頁)。すなわち、量子井戸に応力を付加して軽い正孔および電子からなる励起子吸収(e-lh)と重い正孔および電子からなる励起子吸収(e-hh)との波長を一致させるという方法である。

【0006】かかる方法によると、電界印加のされていないときにはTEおよびTM両偏光方向それぞれに対しての吸収係数の大きさが同じになる。

【0007】しかしながら、これは電界の印加されていない場合にのみ偏波無依存であるだけである。すなわち、電界を印加すると各々の励起子吸収ピークは長波長側へシフト(QCSEと呼ばれる)するが、そのシフト量は一般に偏光方向によって異なるからである。

【0008】逆に、電界印加時に偏波無依存となるように設計しても、電界の印加されていないときにはTEおよびTM両偏光方向それぞれに対して同一の吸収係数にはならないという問題がある。

【0009】さらに、従来の構造では上記偏波依存性ばかりでなく、駆動電圧も消光比20dBを得るのに必要な電圧は2V以上で、3dB帯域は20GHzが最高であり、さらに一層の改良が求められている。

【0010】本発明の目的は、このような事情に鑑み、入射光の偏光方向により電界効果が依存することなく、かつ、大きな吸収係数変化および屈折率変化が、小さい電圧で得られる高性能な光導波路形変調器を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する本発明の第1の態様は、異なる2種類の半導体材料からなる量子井戸層および障壁層を交互に積み重ねた多重量子井戸構造をコアとする光変調器において、該多重量子井戸構造の軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収との吸収ピーク波長がほぼ一致し、かつ両者の吸収量がほぼ同じであることを特徴とする偏波無依存形半導体量子井戸光変調器にある。

【0012】本発明の第2の態様は、第1の態様において、前記多重量子井戸構造を形成している量子井戸層あるいは障壁層の格子定数がこれらの層をその上に成長させている基板結晶の格子定数と不整合であって、当該量子井戸層内には伸張応力が、当該障壁層にはこれと逆向きの圧縮応力がそれぞれ生じているが、当該多重量子井戸構造の全応力が互いに補償されており、かつ前記軽い正孔および電子からなる励起子吸収の吸収ピーク波長が前記重い正孔および電子からなる励起子吸収と同じか、それより長波長側になるよう、当該伸張歪の大きさを設定したことを特徴とする偏波無依存形半導体量子井戸光変調器にある。

【0013】本発明の第3の態様は、第1または2の態様において、多重量子井戸層を挟むクラッド層の外側に電界印加用の電極を設け、電界による前記軽い正孔および電子の励起子吸収の変化と前記重い正孔および電子の励起子吸収の変化とを同じ大きさにしたことを特徴とする偏波無依存形半導体井戸光変調器にある。通常、量子井戸層あるいは障壁層の格子定数がこれらの層をその上

に成長させている基板結晶の格子定数と整合して当該量子井戸層内に応力を生じない状態では、入射光の偏光方向がTE偏光の場合には、軽い正孔および電子からなる励起子吸収( $e-h$ )と重い正孔および電子からなる励起子吸収( $e-hh$ )との両方観測されるのに対し、入射光の偏光方向がTM偏光の場合には、軽い正孔および電子からなる励起子吸収( $e-h$ )のみが観測される(図9参照)。

【0014】これに対し、従来さらにシフト量を同じにしようとする試みがあったが、これによっても電界印加時に偏波無依存にはならなかった。

【0015】本発明では、量子井戸構造における励起子吸収の吸収量に着目して本発明を完成させた。また、本発明では応力付加状態での電界印加時の吸収係数変化を初めて定量的に把握した。

【0016】すなわち、上述したように、量子井戸内に応力が加わるようにして、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とが重なるようにし、かつ、電界印加による吸収係数の変化をTEおよびTM両偏光方向それぞれに対して同等にすることにより本発明の目的が達成される。

【0017】量子井戸内に応力を加えて、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とを重ねることは、先に示した文献(3)、(4)に述べられている。ただし、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とを重ねても、本発明のように吸収係数そのものの電界効果を考慮しなければ電界印加時に偏波無依存にはならない。

【0018】従って、本発明により、量子井戸内に応力が加わるようにして、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とが重なるように、かつ、両者の吸収量をほぼ同じにすれば、電界印加時にも偏波無依存になるよう量子井戸構造を設計、製作することができる。

【0019】ここで、量子井戸内に応力が加わるようにして、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とが重なるようにするとき、障壁層にも量子井戸層とは逆向きの応力が加わるようにして、多重量子井戸層全体で応力を補償してやれば、応力付加によって新たに転位が入ったりすることなく、また、転位発生を防止するために層数や、層厚に制限を設ける必要がなくなる。

【0020】さらに、多重量子井戸構造においてこれを形成している量子井戸層の格子定数がこの層をその上に成長させている基板結晶の格子定数と不整合にして、量子井戸層内に伸張応力を生じさせると、その吸収端の波長は応力のない場合に比べ短波長になるため、同じ吸収端波長にするには量子井戸の厚さを厚くする必要がある。参考のため、図8には、 $In_{1-x}Ga_xAs/In$

10

20

30

40

50

。... A l. ... A s 量子井戸において重い正孔および電子からなる励起子吸収を  $1.49 \mu\text{m}$  に固定したときの井戸層の伸張歪み量と井戸層厚との関係を示す。これにより、吸収端の波長を長波長側に、例えば石英系光ファイバの超低損失な伝送特性を持つ波長  $1.55 \mu\text{m}$  で動作するように波長  $1.49 \mu\text{m}$  付近にすることができる。このとき Q C S E に基づく吸収端波長のシフトは量子井戸の厚さの4乗に近似的に比例するので、井戸層厚を厚くした方が大きな吸収係数変化が得られるが、一方、振動子強度そのものは井戸層が厚くなると弱くなるため、ある厚さ以上になるとかえって吸収係数変化は減少してしまう。すなわち、井戸の厚さには最適の厚さがある。

【0021】また、量子井戸層内の伸張応力の大きさは、吸収端波長一定のもとで大きければ大きいほど井戸層の厚さは厚くできるが、上記の理由で自ら限界がある。さらに、伸張歪が  $0.38\%$  を越えると、軽い正孔および電子からなる励起子吸収が重い正孔および電子からなる励起子吸収よりも長波長側にきてしまう。

【0022】この場合、直接、吸収に寄与するのは軽い正孔および電子からなる励起子吸収となつて、電界印加による吸収端の波長シフトは励起子の質量に比例するため、電界による吸収係数変化は小さくなると考えられていた(文献(4))。したがって、軽い正孔および電子からなる励起子吸収が重い正孔および電子からなる励起子吸収よりも短波長側にくるように作製されていたが、これら励起子吸収と偏光方向とは密接に関係しているので、結果として偏光方向依存性が消光比には残っていた。

【0023】しかし、本出願人の計算によれば、伸張歪が  $0.38\%$  を越える軽い正孔の質量はその表現とは逆に重い正孔よりも大きくなるため、十分使用できることが判明した。この結果に基づき、電界の印加されていない状態では、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とを重ねるにしても、軽い正孔および電子からなる励起子吸収を重い正孔および電子からなる励起子吸収よりも長波長側にしておく方が、電界印加後の吸収係数変化の差を小さくできること、すなわち、偏光方向依存性の少なくなることをさらに知見した。

【0024】また、従来の扱いでは、光の吸収係数の波長依存性(吸収スペクトル)を合わせるようにしていたが、偏光方向によって光の閉じ込め状態が変わることが考慮されていなかった。すなわち、光の導波路では、コアの外に光がしみ出してしまうが、そのしみ出しの程度(あるいは光の閉じ込めの程度)は、偏光方向によって通常2割程度異なるため、この違いを考慮して吸収係数およびその電界による変化を合わせることが必要である。本発明においてはこの光の閉じ込め係数の偏光方向依存性も考慮している。

【0025】

【作用】量子井戸内に応力が加わるようにして、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とが重なるように、かつ、両者の吸収量をほぼ同じにすれば、電界印加時にも偏波無依存になるよう量子井戸構造を設計、製作することができる。

【0026】吸収量を同じにするには、通常の格子整合系と違い、量子井戸内に応力が加わるようにして、かつ、量子井戸の厚さを最適化して、軽い正孔および電子からなる励起子吸収を重い正孔および電子からなる励起子吸収よりも長波長側にした。すなわち、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収との電界による変化を、既報告のような吸収ピークの長波長側へのシフトを同じにするのでなく、軽い正孔および電子からなる励起子吸収を重い正孔および電子からなる励起子吸収よりも長波長側にした。この結果、電界による励起子の吸収係数の変化を同じにすることができ、T E および T M 偏光それぞれに対して吸収係数変化が同じになり、電界印加時にも偏波無依存にできる。また、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収とを重ねてしまえば、電界印加のないときの吸収係数を、T E および T M 偏光それぞれに対して同じにできる。

【0027】本発明において、量子井戸層内に伸張応力を生じさせ、一方、障壁層にはこれと逆向きの圧縮応力を生じさせると、その吸収端の波長は応力のない場合に比べ短波長になるため、量子井戸の厚さを厚くして同じ吸収端波長にする。このとき、前述のように量子井戸の厚さは厚いほど Q C S E に基づく吸収端波長シフトは大きくなるが、振動子強度は逆に減少するので量子井戸の厚さには最適な値がある。例えば、波長  $1.55 \mu\text{m}$  で電界吸収形強度変調器として動作するように井戸層厚を  $10 \sim 12 \text{ nm}$  とし、井戸層内に  $0.35 \sim 0.50\%$  の伸張歪を、厚さ  $5 \text{ nm}$  の障壁層に  $0.5\%$  の圧縮歪を導入する。また、波長  $1.55 \mu\text{m}$  で電界屈折率位相変調器として動作するように井戸層厚を  $7.5 \sim 9 \text{ nm}$  とし、井戸層内に  $0.35 \sim 0.50\%$  の伸張歪を、障壁層に  $0.5\%$  の圧縮歪を導入する。これにより大きな吸収係数変化、屈折率変化を持つ、高性能な光導波路形状変調器を提供することができる。

【0028】すなわち、本発明の多重量子井戸構造および従来の多重量子井戸構造の電界印加による消光比を比較する図4に示すように、電界吸収形強度変調器として通常の応力のない場合に比べ約半分の電圧で同じ消光比を得ることができる。これは同じ消光比、同じ電圧に対して試料の長さが半分で済むことを意味するので、素子の速度を律速している素子容量も半分になり、速度は倍になる。なお、測定系の制限から  $3 \text{ dB}$  帯域は  $20 \text{ GHz}$  以上あるとしか確認できなかった。

【0029】図6は、光閉じ込めの偏光依存性を考慮した T E 偏光と T M 偏光に対する吸収係数変化の差を、電

界強度 $F$ をパラメータとして伸張歪( $\varepsilon$ )の関数として示したもので、吸収端波長 $1.49\mu\text{m}$ 、入射光波長を $1.55\mu\text{m}$ に仮定している。通常、この吸収係数の差 $\Delta\alpha$ は、消光比に換算して $1\text{dB}$ 以下であれば、偏波無依存と考えてよい。光閉じ込め係数 $\Gamma$ を $0.1$ としたとき、 $\Delta\alpha \cdot L \leq 2.3$ となり、試料長さ $L$ を $100\mu\text{m}$ とするとこの差は $230\text{cm}^{-1}$ 以下であればよいので、伸張歪 $\varepsilon$ は、 $0.36 \sim 0.40\%$ であれば、電界強度が $0$ から $200\text{kV/cm}$ の広い範囲に亘ってほぼ変化無依存となる。この図では $0\text{kV/cm}$ では $\varepsilon = 0.33 \sim 0.36\%$ のとき上記の $1\text{dB}$ 以下の範囲に収まることになるが、通常、PIN構造を用いて電界を均一に印加するようにしているため、ビルトイン電界が外部電圧 $0$ ボルトでも存在し、この電界によって $\varepsilon$ の値は大きい方にずれる。このため、上記 $\varepsilon$ の値は $0.36 \sim 0.40\%$ の範囲が適当である。

【0030】また、このときの量子井戸の厚さは、吸収端波長が $1.49\mu\text{m}$ になるような条件から $12\text{nm}$ となったが、この値は、別の計算からほぼ最適の値になっており、多少のバラツキを考慮しても、 $12\text{nm} \pm 2\text{nm}$ の値がよい。ただし、量子井戸が $\text{InGaAs}$ 、障壁層が $\text{InAlAs}$ の場合であって、障壁層が $\text{InGaAsP}$ では $0.3\%$ の伸張歪が最適で、その前後 $\pm 0.02\%$ 程度あればよい。

【0031】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0032】図1には、上述したような偏波方向に依らない大きな吸収係数変化を利用した、一実施例に係る光変調器を示す。図1に示すように、 $n\text{-InP}$ 基板1上には、 $n\text{-InAlAs}$ クラッド層2、ノンドープ $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{In}_{1-y}\text{Al}_y\text{As}$ からなる多重量子井戸層3、 $p\text{-InAlAs}$ クラッド層4、および $p\text{-InGaAs}$ 層5が順次積層されており、 $n\text{-InP}$ 基板1の裏面にはN側電極6が、 $p\text{-InGaAs}$ 層5上にはP側電極7が設けられている。なお、図中、9および10は、それぞれ入射光および出射光を示す。ここで、量子井戸層3は、 $\text{InGaAs}$ と $\text{InAlAs}$ とをそれぞれ量子井戸層と障壁層とする多重量子井戸構造で分子線エピタキシャル成長法や有機金属気相成長法などの結晶成長法で作製した。

【0033】通常、 $\text{InP}$ 基板1に格子整合する $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ や $\text{In}_{1-y}\text{Al}_y\text{As}$ などの混晶の条件は $x = 0.47$ 、 $y = 0.48$ であるが、 $x$ や $y$ の値を変えることにより格子不整合を生じさせそれぞれの層内に応力を発生することができる。応力の大きさおよび向きも、井戸層、障壁層の上記組成や層厚を変えることでクラックの発生しない範囲で自由に換えられる。例えば、 $y = 0.48$ と障壁層を $\text{InP}$ 基板に整合させた場合、 $x > 0.47$ では引っ張り応力が発生するが、 $x <$

$0.47$ では圧縮応力が井戸層内にそれぞれ発生する。このとき井戸層の厚さを $12\text{nm}$ と通常の $\text{InP}$ 基板に整合させた場合の厚さ $7.5\text{nm}$ に比べ大幅に増大でき、QCSEの高効率化が可能となった。すなわち、波長 $1.55\mu\text{m}$ で電界吸収形強度変調器として動作させた素子では、井戸層厚を $10 \sim 12\text{nm}$ とし、井戸層内に $0.35 \sim 0.50\%$ の伸張歪を、厚さ $5\text{nm}$ の障壁層に $0.5\%$ の圧縮歪を導入した。このときの特性は図4および図5に示すとおりである。図4は、本発明の多重量子井戸構造および従来の多重量子井戸構造の電界印加による消光比の電圧依存性を比較する図、図5は、本発明の多重量子井戸構造の電界印加による消光比の電圧依存性を示す図である。

【0034】本素子は障壁層に井戸層と逆向きに圧縮応力を加えてあるので、井戸層厚は $12\text{nm}$ 、ノンドープ $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{In}_{1-y}\text{Al}_y\text{As}$ 多重量子井戸層は $0.18\mu\text{m}$ と比較的厚いにもかかわらず、応力は弾性の範囲内であって転位やクラックの発生することはない。

【0035】図2には、上述したような偏波方向に依らない大きな吸収係数変化を利用した他の実施例に係る光変調器である。 $n\text{-InP}$ 基板11上には、 $n\text{-InP}$ クラッド層12、ノンドープ $\text{InGaAsP}/\text{InGaAsP}$ からなる多重量子井戸層13、 $p\text{-InP}$ クラッド層14、および $p\text{-InGaAs}$ 層15が順次積層されており、 $n\text{-InP}$ 基板11の裏面にはN側電極16が、 $p\text{-InGaAs}$ 層15上にはP側電極17が設けられている。量子井戸層13は、 $\text{InGaAsP}$ と $\text{InGaAsP}$ の応力の補償された多重量子井戸構造になっている。前の実施例と同様 $\text{InP}$ 基板に格子整合する $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{In}_{1-y}\text{P}_y$ や $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ などの混晶の組成条件、または $x$ 、 $y$ 、 $u$ 、もしくは $v$ の値を変えることで格子不整合を生じさせて応力を発生させることができる。応力の大きさ、向きもクラックの発生しない範囲で自由に換えられる。井戸層には図1と同様伸張歪が $0.7\%$ 加えられている。

【0036】以上説明した本発明の多重量子井戸構造電界印加による吸収係数変化を図3に示す。すなわち、これによると、偏波方向に依存しない吸収係数変化が電界印加で可能となる。一方、吸収係数の変化はクラマース・クローニッヒの関係から屈折率変化に対応しており、偏波方向に依存しない位相変調器ができる。

【0037】また、図7は、本発明に係る量子井戸構造の量子井戸に引っ張り応力を付加したときの吸収スペクトルを示す図で、(a)はTE偏光の場合、(b)はTM偏光の場合であり、偏波無依存性であることを示している。

【0038】また、以上説明した実施例の光変調器は、多重量子井戸構造での量子井戸層内に引っ張り応力が加わるようにして、軽い正孔および電子からなる励起子吸

収と重い正孔および電子からなる励起子吸収が重なるようにしているため、従来より問題であった変調器の入射光偏光方向依存性をなくなり、また、障壁層に圧縮応力を導入して応力を補償して、厚い井戸層を用いることができるため、小さい電界印加で大きな吸収係数変化、屈折率変化が得られ、高効率である。

【0039】図5は本発明に基づく光強度変調器の入射光偏光方向依存性を示すもので、縦軸は透過光強度の絶対値、横軸は逆方向電圧、パラメータは入射光の偏光方向の角度を示す。偏光方向が変化しても高々1 dBの強度変化しかなく、偏波無依存性が立証されている。

【0040】なお、上記実施例では、InP基板を用いたInGaAs、InAlAs、InGaAsP混晶について述べたが、GaAs基板を用いたInGaAs、InAlAs、InGaAsP、AlGaAs混晶系についても同様な効果があることは明らかである。

【0041】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、多重量子井戸構造での量子井戸層内に引っ張り応力が加わるようにして、軽い正孔および電子からなる励起子吸収と重い正孔および電子からなる励起子吸収が重なるようにしているため、従来より問題であった変調器の入射光偏光方向依存性がなく、また、障壁層に圧縮応力を導入して応力を補償し、厚い井戸層を用いることができるため、小さい電界印加で大きな吸収係数変化、屈折率変化が得られ、高効率な光変調器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る光変調器を示す斜視図である。

【図2】本発明の他の実施例に係る光変調器を示す斜視図である。

【図3】本発明に基づく多重量子井戸構造の電界印加による吸収係数変化を示す図である。

【図4】本発明に基づく多重量子井戸構造および従来の多重量子井戸構造の電界印加による消光比の電圧依存性\*

\*を示す図である。

【図5】本発明に基づく多重量子井戸構造の電界印加による消光比の偏光方向依存性を示す図である。

【図6】本発明に基づく多重量子井戸構造における、井戸層の伸縮歪に対するTE偏光とTM偏光の吸収係数変化の差を示す図である。

【図7】本発明に基づく量子井戸構造の量子井戸に引っ張り応力を付加したときの吸収スペクトルを示す図で、(a)はTE偏光の場合、(b)はTM偏光の場合を示す。

【図8】 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{In}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{As}$ 量子井戸において重い正孔および電子からなる励起子吸収の吸収端波長を $1.49\mu\text{m}$ に固定したときの井戸層の伸張歪と井戸層厚の関係を示す図である。

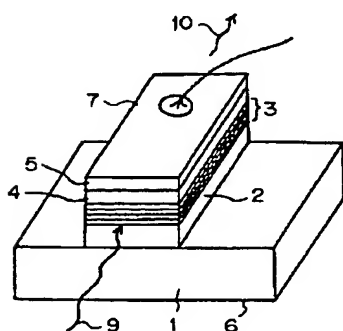
【図9】従来の矩形ポテンシャル形状を持つ多重量子井戸構造の電界印加による吸収係数変化を示す図で、(a)はTE偏光の場合、(b)TM偏光の場合を示す。

【図10】従来の放物線ポテンシャル形状を持ち、応力の加えられていない多重量子井戸構造の電界印加による吸収係数変化を示す図である。

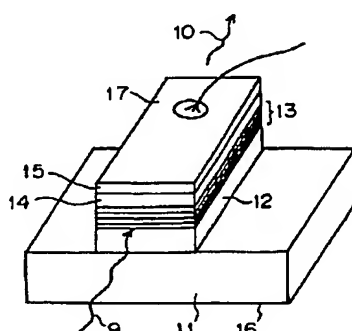
【符号の説明】

- 1 n-InP基板
- 2 n-InAlAsクラッド層
- 3 ノンドープ $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{In}_{1-y}\text{Al}_y\text{As}$ 多重量子井戸層
- 4 p-InAlAsクラッド層
- 5 p-InGaAs層
- 6 N側電極
- 7 P側電極
- 11 n-InP基板
- 12 n-InPクラッド層
- 13 ノンドープInGaAsP/InGaAsP多重量子井戸層
- 14 p-InPクラッド層

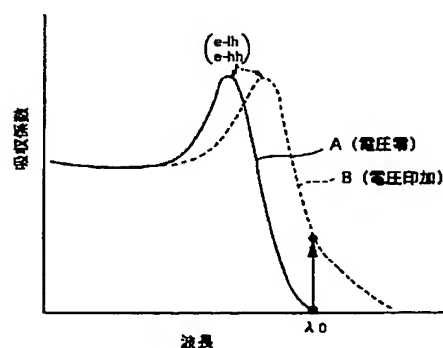
【図1】



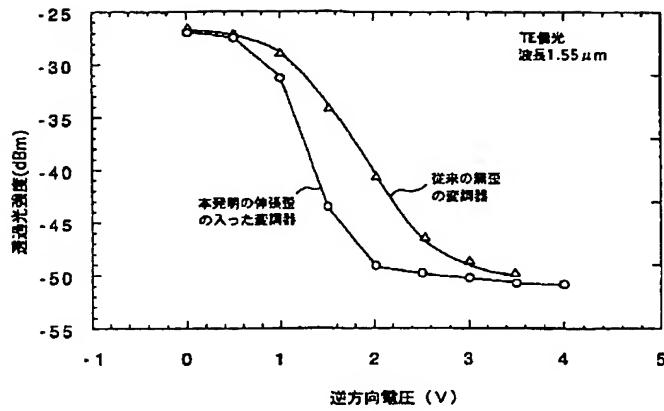
【図2】



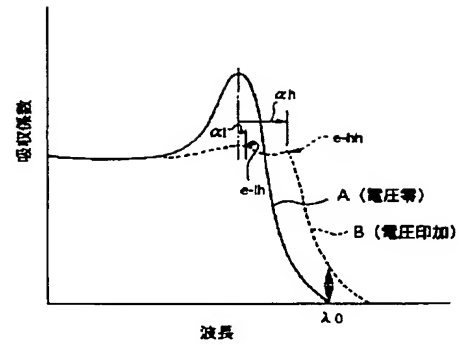
【図3】



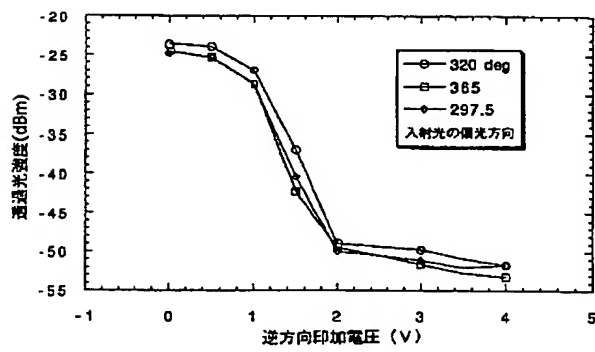
【図4】



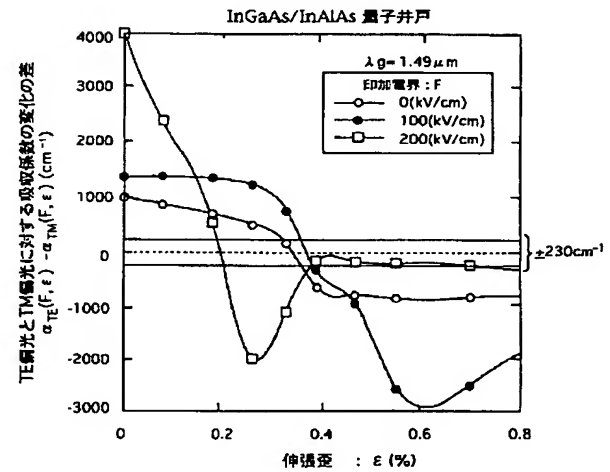
【図10】



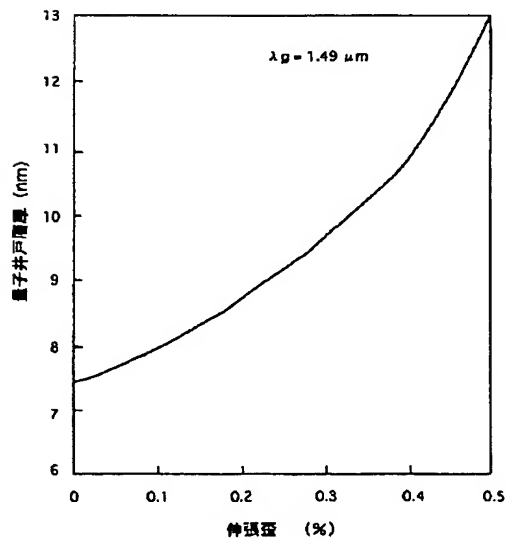
【図5】



【図6】

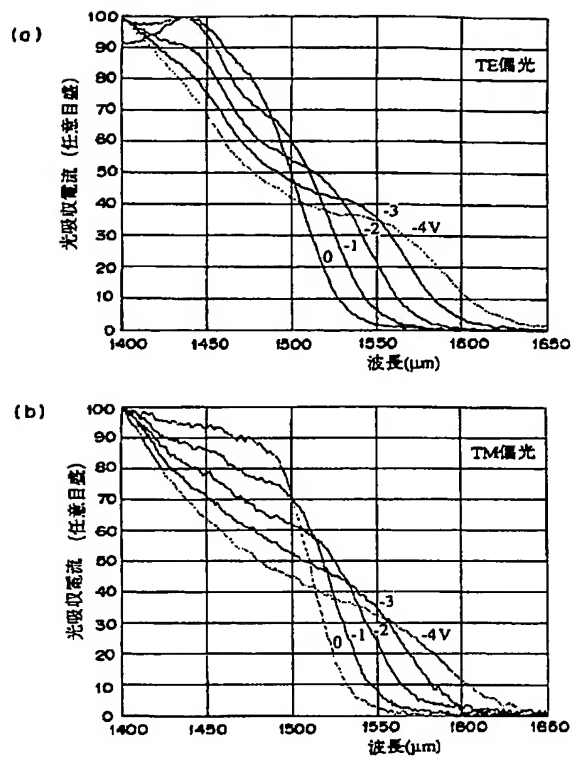


【図8】

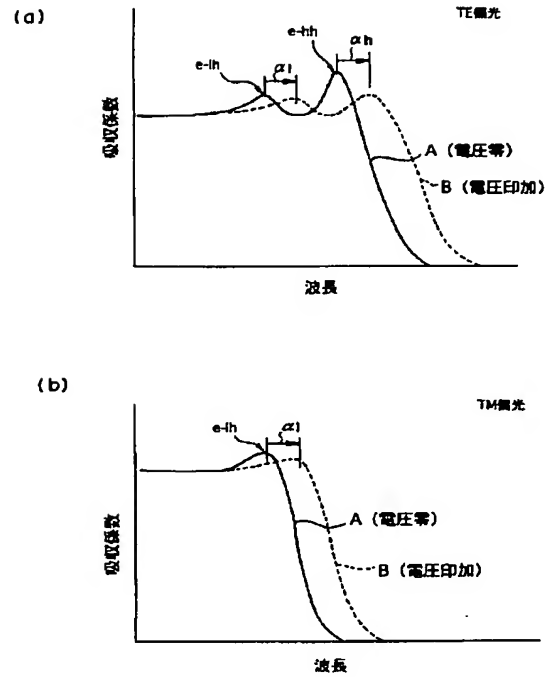




【図7】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 野口 悦男  
 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
 本電信電話株式会社内